

大ゼミ質問回答書

60190025 岡田泰修

2018/5/15

設計

- Q1. テンセグリティ構造は従来の構造体と同様の応力に対応できるのでしょうか。
- A. 従来の構造体は何を指すのかは不明ですが、テンセグリティシステムは、棒材とケーブル材のみで構成された構造体であるので、トラス構造体等と比較した場合、多少なりとも外乱を受けたときの振動は大きくなり、構造体としての強度も低下してしまいます。しかし、このような問題を解決するために、構造体としての強度を損なわない形状を模索する研究や、テンセグリティの形状を平衡状態に保ちながら、質量を最小にするといった、実際に設計する際に必要なシステムにかかる力と質量の関連性についての研究も数多くあります。
- Q2. 大型化した場合、無制限に大きくしていけるのでしょうか。
- A. 無制限に大きくできると言うとは少し過剰ですが、テンセグリティシステムの使用用途として考えられているのは、ドームの天井や橋、衛星などが挙げられており、実用性という観点から見ると十分に大きなものも作ることができると考えられます。
- Q3. 規模が大きくなるにつれて、接続部の負担が大きくなるなどといった問題はあるのですか。
- A. テンセグリティ構造は、繰り返し構造により大規模化することができますが、その分、自重が大きくなるので、部材同士の接続部分にかかる力はより大きくなると考えられます。その他にも、接続部の摩擦等の問題についても顕在化すると思われます。しかし、こういった問題を解決するために、ダイナミクスによる運動解析の研究だけでなく、最小質量設計や平衡状態に関する研究もされています。
- Q4. 軽量化をすると耐久力が落ちると思うのですが、最適解はあるのでしょうか。
- A. 確かに軽量化するとその分構造の強度は低下しますが、テンセグリティシステムに関する研究のなかには、最小質量設計に関する研究もあり、構造物に必要な耐久力を満たしながら、なおかつ質量を最小限まで小さくするように設計する研究なども行われています。
- Q5. 先行研究にあったケーブルの影響が支配的な構造体とは何なののでしょうか。
- A. ケーブルの影響が支配的な構造体とは、テンセグリティ構造を膨らませたり、畳んだりと、ケーブルの引張力がそのシステムの挙動を左右するものを指します。しかし、テンセグリティシステムは未だ研究段階にあり、具体例を挙げることはできません。ただ、使用例の予想として、宇宙空間で中に空気を入れて膨らませて展開する宇宙ステーションなどが考えられます。
- Q6. テンセグリティ構造は様々な場所で使用されているそうですが、その際に解析は行われていないのですか。
- A. 様々な場所で使用されている、というのは実は過剰な表現になります。これは、テンセグリティシステムを用いた構造物の例として、球状テンセグリティやテンセグリティを用いたアーチなどが挙げられますが、これらは美術品といった側面が強く、日常生活で利用するという観点から見ると、まだ研究段階にある場合が多いためです。したがって、テンセグリティシステムの実用の前段階として、テンセグリ

ティシステムの解析手法について数多く研究されています。ただ、研究段階にあるとはいえ、転がりによって移動する球状テンセグリティロボットテンセグリティや、テンセグリティで構成された橋などは実際につくられています。このような構造物の挙動及び外乱による振動を予測するためにテンセグリティシステムの解析は行われています。

- Q7. テンセグリティシステムとは具体的にどのような機器のどのような部分に使用されていますか。
- A. テンセグリティシステムは、現在、研究段階にある分野であり、構造物のどの部分に使用されている、というよりは、使用できるのではないかと注目を集めている、という言い方が正しいです。そのような中、テンセグリティは主に骨組み部分に使われることが想定されており、数少ない例ですが、テンセグリティを用いて作られた橋も存在します。この橋は、テンセグリティの骨組みが螺旋を描きながらトンネルのように通路を囲み、なおかつその通路を支える構造になっています。他にも、骨組み部分以外の活用方法として転がりによって移動する球状テンセグリティロボット等があります。

ダイナミクス

- Q8. なぜダイナミクスを導出する必要があるのですか。
- A. これはどんな構造物に対してもいえることですが、風や地震等の外乱が生じた場合、構造物はそれらの影響を受け、振動し、最悪の場合には倒壊する恐れもあります。このような影響を防ぐ、もしくは低減するために、事前にシステムの解析を行い、外乱を受けたときの構造物の挙動を予測する必要があるので、その最も基本的な段階としてシステムのダイナミクスを導出することは必要不可欠であると考えています。
- Q9. 張力材と圧縮材の接続はどのようになっていますか。
- A. 部材同士の接続方法は基本的に同じです。その接続方法は、座標変換を用いてすべての部材の座標系を一つに統一し、接続行列というものをを用いて接続する、という方法になっています。ただし、部材接続部の節点のずれはシステム全体から見て十分に小さいとして無視しています。
- Q10. ダイナミクスの導出の流れは、小さいものから大きいものの順に導出していくという理解で正しいですか。
- A. はい、その理解で正しいです。まず、各部材（ケーブル材と棒材）を複数要素に分割し、その一要素のエネルギー関数を求め、次に要素同士を接続することで、一部材のエネルギー関数に拡張します。さらに一部材のエネルギー関数を座標変換および部材の接続を行うことでシステム全体のエネルギー関数を求めます。こうして求めたエネルギー関数をハミルトンの原理に適用することでシステム全体のダイナミクスを導出します。

シミュレーション・解析

- Q11. 構造物が大きくなるほど計算量が膨大になるとは思うのですが、大学内のコンピュータではそれは可能なのでしょうか。
- A. 構造物が大規模になるにつれて計算量が増え、計算時間がかかることは確かですが、そのせいで大学にあるコンピュータで計算できなくなることはないと思われます。
- Q12. 関連研究との比較の結果、どのような結果が得られると予測されますか。
- A. 有限要素法は応力解析や梁の曲げ評価などによく用いられています。また、テンセグリティシステムを構成する部材に働く力は軸力のみで制限されます。しかし厳密に考えると、部材に小さな曲げが生じる恐れもあります。このような従来の手法では評価できない現象も有限要素法を用いることで評価できるのではないかと考えています。

Q13. テンセグリティの大きさ，形状はどのようなものを想定しているのでしょうか。

A. まず初めに，テンセグリティ構造の一番単純な形状の一つである棒材 2 本，ケーブル材 4 本で構成された二次元のテンセグリティシステムを用いてシミュレーションを行うことを考えています．そして，手法の有効性を確認した後，より複雑な形状をしたテンセグリティシステムに適用することを考えています．

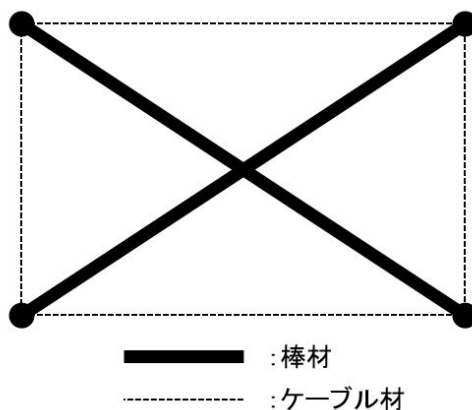


Fig.1 平面テンセグリティ

Q14. ケーブルが支配的な構造物に対しても有効なのですか。

A. 本手法は，ケーブルの質量も陽に考えた解析手法なので，ケーブルの影響が支配的な構造物に対しても有効です．

Q15. 他手法と比較して優位な点を教えてください。

A. 本手法は，一般的に要素の形状，大きさを適切に選べば，高精度な解析結果が得られるとされる有限要素法を用いているので，他手法と比べてより高精度な解析結果が得られるのではないかと考えています．

Q16. テンセグリティ構造といっても，テンセグリティプリズムタワーや球状テンセグリティなどいろいろあると思いますが，テンセグリティ構造なら何でも提案手法で解析可能なのですか。

A. 本手法は，まず，二次元の単純なテンセグリティ構造に適用して手法の有用性を確認することを第一としており，その後により複雑な形状をしたテンセグリティシステムに適用することを考えています．そのため，現在は二次元で考えているので，テンセグリティプリズムタワー等のシステムに適用する場合，変数を増やして接続行列を三次元のものに拡張する必要がありますが，おおむねの考え方自体はどのテンセグリティ構造に対しても適用できるのではないかと考えています．

Q17. 発表の際言っていた高精度な解析，シミュレーションの正しい値とは，いったい何を指すのでしょうか．ほかの解析手法と比べた際に精度といても何が良くなるのでしょうか．また，他の解析手法は正しくないのでしょうか．

A. ご指摘いただいた高精度な解析，より正しい値，というのは，数値計算上での値を指しており，実機を用いた検証による実測値というよりは，理論値としての正しさに重きを置いています．また，テンセグリティシステムには，構成する部材にかかる力は軸力のみに制限されるという特徴がありますが，実際には微小な曲げが生じる可能性があります．したがって，応力解析や曲げの評価などにも用いられている有限要素法を使うことで小さな曲げも評価できるのではないかと考えています．しかし，他の解析手法が間違っているというわけではなく，その手法がある条件下において十分な精度の理論値を有しており，かつ曲げも十分小さく無いものとして近似できることが判明すれば，この場合はそちらの手法を用

いる，というように考えており，本手法はその判定に用いることを想定しています．